

3176701

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

(57) [Claim(s)]

[Claim 1] In the current position recognition processor of a mobile which recognizes the self current position and moves based on the image information which was equipped with the visual sensor and obtained through said visual sensor at least A storage means to memorize two or more focus beforehand about the objective configuration or objective location where said current position recognition processor exists in a. migration space, And according to the performance index of the function about distance prepared beforehand, and the function about an include angle which contains either at least, the predetermined focus is chosen out of the focus of the b. aforementioned plurality. a recognition means to recognize the self current position based on the image information about said selected focus -- since -- the current position recognition processor of

the mobile characterized by becoming.

[Claim 2] The walk control device of the leg formula mobile robot carry out having a walk actuation decision means choose walk actuation of the a. aforementioned robot from two or more predetermined walk functions, and opt for it in the walk control device of the leg formula mobile robot which comes to have the leg link of two or more, and the driving means drive said leg link so that the walk actuation by which the b. aforementioned decision was made may be realized as the description. [Claim 3] said walk function -- the walk control unit of the leg formula mobile robot a halt -> rectilinear-propagation -> halt and given in claim dyadic which halt -> reach and are characterized by -> halt and halt -> coming down and including -> halt, a halt -> turn -> halt, and a halt -> step doubling -> halt at least.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to what realized improvement in the speed and high-degree-of-accuracy-izing of visual-recognition processing in the

mobile robot which more specifically recognizes the characteristic configuration of having been suitable for the visual-recognition algorithm within a migration environment, about the current position recognition processor of a mobile etc., and recognizes the self current position from that recognized location.

[0002]

[Description of the Prior Art] Although various things including an owner man and uninhabited exist as a mobile, a mobile robot can be mentioned to a thing typical as an uninhabited mobile. And as a robot of a migration mold, various things, such as a thing of a leg formula given in JP,62-97005,A, a thing of a crawler type given in JP,62-285112,A, or a thing of a wheel type, are proposed until now. When such a mobile robot moves indoors, being easy to be visible like head lining or a door, and a configuration also carrying out visual-recognition processing of the easy thing, and moving in quest of the self current position is expected. in addition, the visual-recognition processing technique itself -- for example, "research of a machine" -- it is detailed to the 43rd volume, No. 1 (1991) or "Japanese Society for Artificial Intelligence" Vol.5, No.6 (November, 1990), etc.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since to recognize the current position and to move with a sufficient precision in the inside of a

complicated environment is demanded in case a robot moves actually, by the technique to which it is far away and measurement of an exact location tends to get to know the current position by the difficult object like the aforementioned head lining, sufficient migration precision is unrealizable.

[0004] For this reason, although it is considered easily that what it is easy to recognize tends to be chosen and it is going to recognize the current position to high degree of accuracy out of the configuration of the object near the robot The configuration of having been suitable for the visual recognition which exists in such a common object It is the label with which the objective corner differed from color, and unless moving trucking is specified, it is difficult which description configuration they use out of them by existing much actually, and to set up beforehand.

[0005] Therefore, it is in the object of this invention canceling the above-mentioned inconvenience, and is in offering the current position recognition processor of the mobile which enabled it to recognize the current position to a high speed and high degree of accuracy through visual-recognition processing in the mobile which moves in the inside of a migration environment. Furthermore, when the leg formula mobile robot which is a mobile walked actually, walk control had to be carried out so that it might move in the inside of the environment where many obstructions exist, avoiding an obstruction, and to

realize such walk control was desired. Therefore, the 2nd object of this invention is to offer the walk control unit of the leg formula mobile robot which is stabilized also in the environment where many obstructions exist and enabled it to carry out walk control. [0006]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, this invention was constituted as following. If it is in claim 1 term when the expression of the example mentioned later is written in addition and explained In the current position recognition processor of a mobile which recognizes the self current position and moves based on the image information which was equipped with the visual sensor 32 and obtained through said visual sensor at least A storage means to memorize two or more focus beforehand about the objective configuration or objective location where said current position recognition processor exists in migration space (from S10 to a control unit 26 and 12), And according to the performance index of the function about distance prepared beforehand, and the function about an include angle which contains either at least, the predetermined focus is chosen out of said two or more focus. It constituted so that it might consist of a recognition means (a control unit 26, S14 to 20, S100) to recognize the self current position based on the image information about said selected focus. In the walk control unit of the leg formula mobile robot 1 which comes to have the leg link 2 of two or more if it

is in claim 2 term A walk actuation decision means to choose walk actuation of said robot from two or more predetermined walk functions, and to opt for it (from S10 to a control unit 26 and S18), And it constituted so that it might have the driving means (from S20 to a control unit 26 and S28) which drives said leg link so that said walk actuation for which it opted may be realized. if it is in claim 3 term -- said walk function -- halt -> rectilinear-propagation -> halt and halt -> -- reaching -- -> halt -- it constituted so that it might halt -> come down and -> halt, a halt -> turn -> halt, and a halt -> step doubling -> halt might be included at least.

[0007]

[Function] Since the self current position was recognized based on the performance index of the function about distance which memorizes two or more focus beforehand about the objective configuration or objective location which exists in migration space, and was beforehand prepared out of it, and the function about an include angle which contains either at least, the current position can be recognized to a high speed and high degree of accuracy by setting up the performance index suitably. Furthermore, since it constituted so that walk actuation of a robot might be chosen from two or more predetermined walk functions, it might determine, and walk actuation for which it opted might be realized, and said leg link might be driven, also when moving a complicated environment, description of a target path becomes clear, control becomes easy,

and the stable walk control can be realized. [0008]

[Example] Hereafter, taking the case of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk, the example of this invention is explained as a mobile.

Drawing 1 is explanation skeleton drawing showing the robot 1 on the whole, and equips the leg link 2 of each right and left with six joints (shaft) (each joint (shaft) is illustrated with the electric motor which drives it for the facilities of an understanding). To the order from a top, the joints (shaft) of these six individuals are the joints 10R and 10L (right-hand side is set to R and left-hand side is set to L.) for leg winding of the waist (shaft). Below The same joints 12R and 12L of the pitch direction (circumference of the y-axis) of the waist (shaft), The joints (shaft) 14R and 14L of this roll direction (circumference of a x axis), the joints 16R and 16L of the pitch direction of a knee region (shaft), While being the joints (shaft) 18R and 18L of the pitch direction of a guide-peg neck, and the joints (shaft) 20R and 20L of this roll direction and attaching **** (foot) 22R and 22L in the lower part A base (idiosoma 24) is prepared in the most significant, and the control unit 26 equipped with the microcomputer so that it might state later is stored in the interior. In the above, a waist joint consists of joint (shaft) 10R (L), 12R (L), and 14R (L), and an ankle joint consists of joint (shaft) 18R (L) and 20R (L). Moreover, it is the thigh links 28R and 28L between a waist joint and a knee joint, and is connected by the leg links 30R and 30L between a knee joint and an

ankle joint.

[0009] The leg link 2 can give six degrees of freedom about a guide peg on either side, respectively, and it can give the movement toward a request to the whole guide peg, and it consists of driving these $6 \times 2 = 12$ piece joints (shaft) at a respectively proper include angle during a walk so that three-dimension space can be walked to arbitration. Although it has the reducer which the above-mentioned joint which stated previously consists of an electric motor like, and doubles the power that output further, since that detail is given to the application (Japanese Patent Application No. No. 324218 [one to], JP,3-184782,A) which these people proposed previously and it is not just going to consider in itself as the summary of this invention, the explanation beyond this is omitted.

[0010] Here, one-piece (ocellus) arrangement of the visual sensor 32 which becomes a robot's 1 base 24 shown in drawing 1 from a well-known CCD (solid-state image component) camera is carried out, and the output is sent to the image-processing unit 34 which consists of a microcomputer. Moreover, well-known 6 axial-tension sensor 36 is formed in a guide-peg neck, the force components F_x , F_y , and F_z of x , y , and the direction of z transmitted to a robot through **** and the moment components M_x , M_y , and M_z of the circumference of the direction are measured, and the existence of landing of a foot, the

magnitude of the force of joining a support saddle, and a direction are detected. Moreover, the dip sensors 40 and 42 of a couple are installed in the upper part of a base 24, and the inclination to the z-axis, its angular velocity and the angular acceleration, the inclination [similarly as opposed to the z-axis within a y-z flat surface] and its angular velocity, and angular acceleration within a x-z flat surface are detected. Moreover, the rotary encoder which detects the rotation is prepared in the electric motor of each joint (in drawing 1 , only the thing for the electric motors of an ankle joint is shown). These outputs are sent to the above mentioned control unit 26.

[0011] Drawing 2 is the block diagram showing the detail of a control unit 26, and consists of microcomputers. In there, the output of the dip sensors 40 and 42 etc. is changed into digital value with A/D converter 50, and the output is sent to RAM54 through a bus 52. Moreover, the output of the encoder which adjoins each electric motor and is arranged is inputted in RAM54 through a reversible counter 56. Moreover, in order that a user may input a target position etc., a keyboard and a mouse 58 are formed (it is a graphic display abbreviation at drawing 1), and the output is sent out in a microcomputer through the user interface 60 which consists of a microcomputer. Furthermore, the output of the above mentioned image-processing unit 34 is similarly incorporated in a microcomputer through a communication interface 62. The arithmetic unit 64 is

formed in the control unit, recognition processing of the current position is performed, a walk control value is determined so that it may state to a detail later based on the environmental map stored in ROM66, the rate command value of an electric motor is computed from deflection with the actual measurement sent out from a reversible counter 56, and it sends out to a servo amplifier through D/A converter 68.

[0012] Then, actuation of this control unit is explained.

[0013] Drawing 3 is the functional block diagram setting a focus to environment recognition processing and showing the actuation in it. Migration control is performed like a graphic display, recognizing the current position from the image information obtained through the visual sensor 32 based on the environmental map stored in above mentioned ROM66.

[0014] Hereafter, the detail is explained with reference to the flow chart (PAD diagram (structuring flow chart)) of drawing 4 .

[0015] First, in S10, the location and direction the robot 1 is standing are inputted into the order-of-magnitude value of the initial current position in a migration environment, i.e., the beginning, and, subsequently the location of a moving target, i.e., a target point, and the direction of a robot are inputted into it in S12. This input is performed through the keyboard and mouse 58 which were shown in drawing 2 , and a user interface 60.

[0016] Here, in this example, indoor environment as shown in drawing 5 as a migration environment is assumed. That is, a robot goes up and down a stairway according to the given instruction, chooses the path for passing through between two columns and arriving at a target point, refers to the path, and performs migration actuation. An environmental map describes hierarchical that it results [from the top level] in the 3rd level through the 2nd level so that it may be well shown in drawing 6 . The top level shows the joint relation in a building, and is described as association of area. Area consists of a room and a link. A room means locations through which it must pass in order that a link may move between rooms the space considered by 1 lump in field like a chamber or a corridor, such as a stairway and a door, here. Under the top level, body arrangement information is described as the 2nd level, and the information on the access keepout area stated about each body to the bottom of it later, the information on a shape facility, etc. are described further. The detail is shown in drawing 7 and drawing 8 . Such information is stored in ROM66 as an environmental map. In addition, below only within the migration in the chamber shown in drawing 5 , it explains.

[0017] Subsequently to S14 in the drawing 4 flow chart, it progresses, and path planned processing is performed. It is not easy to control freely a travelling direction, such as moving in the path top which progressed a leg formula mobile

robot and the specified distance, or was specified, in the thing of a 2-pair-of-shoes walk especially. However, in migration control, implementation of such migration is indispensable. So, in this example, migration actuation is divided into some basic walk functions, and it was made to perform it. Migration control is realizable only by the control processing which performs a basic walk function by this. The basic walk function was made into five sorts, (a) rectilinear propagation, (b) stairway rise and fall, the (c) turn, (d) step doubling (before or after), and (e) step doubling (right and left), as shown in drawing 9 . At the event of path planned processing of S14, it expresses as association of a basic walk function to this appearance, and the direct expression as an orbit is not carried out.

[0018] The path planned processing by these S14 is what (S18) an indispensable shunt as shown in drawing 10 is generated (S16), and an obstacle avoidance path as shown in drawing 12 , considering interference with an obstruction as shown in drawing 11 is specifically generated for. Here, as an indispensable shunt, it considers as the location and direction of Point B and the point C escaping [stairway field] at the stairway downward glance gage mark A and the beginning of stairway rain. If this is shown in a detail, it will become like drawing 13 .

[0019] It continues in the drawing 4 flow chart, and progresses to S20, and

migration control to the stairway downward glance gage mark (A point) is performed.

[0020] If it explains with reference to the drawing 14 flow chart which shows the subroutine, in S100, the current position will be recognized first. Specifically, selection processing is first prepared in S102. Drawing 15 is a flow chart which shows the subroutine, and preparation of selection processing is preparing visual field count of the camera (visual sensor 32) in the presumed current position, as indicated to S1020 and S1021. It is shown in drawing 16 .

[0021] In the drawing 14 flow chart, it progresses to S104 continuously and a shape facility point is narrowed down. Drawing 17 is a flow chart which shows the subroutine. Out of the shape facility point indicated by environmental information, in order to compute the candidate of a shape facility point, narrowing-down processing of a shape facility point performs assessment by the 1st performance index for narrowing down to all the shape facility points (shown in drawing 8) of all the bodies of the environmental information information described hierarchical, and makes the list of focus candidates in order of the assessment result. As the 1st performance index, recognition precision was as bad as the long distance point, and the distance from [from the general property in which the possibility of the incorrect recognition with other configurations is large] a robot was adopted as a performance index about the magnitude of a

recognition error. Since the number of focus candidates should prepare only a number required for the next optimal description configuration point election processing, the number was set up beforehand and the unnecessary part is throwing away. You may ask for the list of the sequence of all shape facility points, without throwing away theoretically.

[0022] As specifically shown in S1048 from S1040 of the drawing 17 flow chart, a shape facility point is selected out of the node data (shown in drawing 8) of the object object described by environmental information, and it investigates whether as for close, the shape facility point is in the visual field of the camera at that time. Next, the distance from a robot to a shape facility point is calculated. Since it is vision processing by the ocellus, as shown in drawing 18 , the distance from a robot to a shape facility point is found with the distance to the point which crosses the height of the shape facility point that the look from a camera to a shape facility point is indicated by environmental information.

[0023] Since only the distance to a shape facility point can be measured by this technique, in order to ask for a robot's current position, it is necessary to find the distance to at least two or more shape facility points. In this example, the location is determined from that necessary minimum distance of two points. On the other hand, by this technique, if the include angle which two points sandwich is small, the measurement error of a direction will become large. Therefore, it

was made for a measurement error not to become large in selection processing of the following optimal shape facility point of S106 in the drawing 14 flow chart.

[0024] That is, in selection processing of the optimal shape facility point shown in the drawing 19 subroutine flow chart, if the include angle of two high orders of a shape facility point candidate to insert is larger than the include angle (allowance include angle) decided from a permissible dose with error, two points will be determined as an optimal shape facility point as they are, and a robot's current position will be calculated from the two points (S1060-S1062). Moreover, if smaller than an allowance include angle, it will judge whether the include angle inserted by two including other shape facility point candidates in a visual field can be enlarged (S1063). Since the processing time will become long quickly when the number of candidates increases if all combination is investigated at this time, in this example, the group of two points from which it inserts in that combination and an angle serves as max as exchanging one of two high orders has been determined as the optimal shape facility point. For example, when smaller than an allowance include angle, in this case, 1 is replaced with candidates' 1 and 2 one side, the clip angle α by candidates 1 and 2 replaces with 4, and it was made to compare with an allowance include angle in quest of the new clip angle β , as shown in drawing 20 .

[0025] In addition, when the configuration which is [incorrect-] easy to recognize

is in near further as a performance index, the function about the recognition probability of the algorithm of visual recognition may be used so that the activity of the focus of such a configuration may be avoided. Moreover, although it is possible to use together other environment recognition means, such as two or more visual recognition and sonar, and to recognize the current position when moving in the inside of a complicated environment, the ease of those processings and the performance index in consideration of recognition precision etc. may be set up in that case, and a shape facility point may be determined.

[0026] If it returns to the drawing 14 flow chart, after recognizing the current position through location measurement of the focus chosen in S107, it progresses to S108 continuously and walk planned processing is performed. This means the activity developed to a basic walk function so that it may become the moving target specified as shown in drawing 21 . If it explains according to the drawing 22 flow chart which specifically shows the subroutine, a changeover include angle etc. will be determined in S1080, and the number of steps and remainder will be determined in S1081. Like, it converts whenever [α] first (it considers as the mode P1), it moves forward n step (mode P2), and the walk (mode P4) on which it more specifically commented to the lower part of drawing 22 and which moves forward by step doubling (mode P3), and finally converts l'm whenever [β] not much plans (in addition, (a) etc. attached after each

mode shows the corresponding basic walk function which is shown in drawing 9).

[0027] It progresses to S110 in the drawing 14 flow chart, and walk control processing is performed. It means determining a control value that sequential execution of P4 should be carried out from the mode P1 as this means the sequential execution in the basic walk mode by the walk plan as shown in S112, and the subroutine flow chart of drawing 23 is specifically shown in S1120-S1123. However, what should be minded here is performed so that control may be determined with the include-angle command value about 12 joints shown in drawing 1 so that the corresponding basic walk function may be realized, the deflection of an include-angle command value and the actual value acquired through the encoder may more specifically be canceled and each motor may be driven through a servo amplifier in this phase. However, since it is not just going to make that detail into the object of this invention, the explanation beyond this is omitted.

[0028] In the drawing 14 flow chart, it sets to S114 continuously. Recognition processing of a migration error, Namely, processing which recognizes the same current position as S100 to the estimate of the current position after the migration based on the command value to a moving target (under a stairway), and recognizes a migration error with a command value is performed. When it is

judged that an error exceeds a predetermined value by S116-S120, correction migration is repeated until an error becomes below the predetermined value. The condition of searching for a migration error is shown from the current position presumed from the migration command to drawing 24 , and the current position for which it asked through the visual sensor. In addition, drawing 25 is the explanatory view of a check of the shape facility point by the image processing.

[0029] If it returns to the drawing 4 flow chart, it will progress to S22-S28 continuously, and stairway ascent actuation etc. will be performed, but since this is recognizing the current position similarly that the migration to the stairway downward glance gage mark of S20 described, performing walk (migration) control, recognizing a migration error, and performing correction migration, the detail omits.

[0030] This example describes all the shape facility points of the body which exists in the migration space to plan to the environmental map, sorts out the thing in predetermined clearance first according to the performance index beforehand prepared out of it, sandwiches it only using the input image data of that near, chooses what has a larger angle than an allowance include angle, and recognized the current position. Moreover, although one side of a candidate point was replaced with, it remeasured and the allowance include angle was

exceeded when a clip angle was below an allowance include angle, what serves as max in inside is chosen, and the current position was recognized. Furthermore, the error of not the absolute current position but the relative current position, i.e., the current position presumed from the migration command and the actual current position obtained through the visual sensor, was searched for, and when an error exceeded tolerance, it was made to carry out correction migration. Therefore, environment recognition processing to the shape facility point of having been suitable for recognizing the current position can be carried out to a high speed and high degree of accuracy. Moreover, when recognition of the location of the suitable focus in various migration points can be performed from describing the focus to an environmental map, the current position can be recognized with an easy configuration.

[0031] In addition, various variations are possible for the expansion to the basic walk function stated by drawing 21 , for example, when it is drawing 26 , after it performs step doubling on either side, it may go straight on, or the course may be changed like the time of drawing 21 , and it may go straight on, and may be turned again.

[0032] In addition, although the visual sensor of an ocellus was used in the above-mentioned example, the thing of a compound eye may be used.

[0033] Furthermore, although the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes

walk of this invention was explained, it is not restricted to it and carries out appropriate also to the leg formula mobile robot of 1 pair of shoes or 3 pairs of shoes or more further also at mobile robots of other gestalten, such as a crawler mold and a wheel mold.

[0034]

[Effect of the Invention] In the current position recognition processor of a mobile which recognizes the self current position and moves based on the image information which was equipped with the visual sensor and obtained through said visual sensor at least if it was in claim 1 term A storage means to memorize two or more focus beforehand about the objective configuration or objective location where said current position recognition processor exists in migration space, And according to the performance index of the function about distance prepared beforehand, and the function about an include angle which contains either at least, the predetermined focus is chosen out of said two or more focus. Since it constituted so that it might consist of a recognition means to recognize the self current position based on the image information about said selected focus, the current position can be recognized to a high speed and high degree of accuracy by setting up a performance index suitably.

[0035] In the walk control unit of the leg formula mobile robot which comes to have the leg link of two or more if it is in claim 2 term Since it constituted so that it

might have a walk actuation decision means to choose walk actuation of said robot from two or more predetermined walk functions, and to opt for it, and the driving means which drives said leg link so that said walk actuation for which it opted may be realized Also when moving a complicated environment, description of a path becomes easy, and walk control which could be made to avoid an obstruction certainly and was stabilized can be realized. [0036] if it is in claim 3 term -- said walk function -- halt -> rectilinear-propagation -> halt and halt -> -- reaching -- -> halt, since it constituted so that it might halt -> come down and -> halt, a halt -> turn -> halt, and a halt -> step doubling -> halt might be included at least While calculation of a constraint type becomes easy, also when moving a complicated environment, description of a path becomes easy, and walk control which could be made to avoid an obstruction certainly and was stabilized further can be realized.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the schematic diagram, showing the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk of the current position recognition processor of the mobile

concerning this invention on the whole as an example.

[Drawing 2] It is the explanation block diagram of the control unit shown in drawing 1 .

[Drawing 3] It is the functional block diagram showing actuation of the control unit shown in drawing 2 .

[Drawing 4] It is the flow chart which shows actuation of the control unit shown in drawing 2 .

[Drawing 5] It is the explanatory view of the migration environment planned by the drawing 4 flow chart.

[Drawing 6] It is the explanatory view showing concretely the example of description of the environmental map of drawing 5 .

[Drawing 7] It is the explanatory view showing more the 3rd level of the example of description of drawing 6 in a detail.

[Drawing 8] It is the explanatory view showing more the 3rd level of the example of description of drawing 6 in a detail, and is the explanatory view showing especially description of the focus in a detail.

[Drawing 9] It is the explanatory view showing the basic walk function planned by the drawing 4 flow chart.

[Drawing 10] It is the explanatory view showing generation of the indispensable shunt in the drawing 4 flow chart.

[Drawing 11] It is the explanatory view showing generation of the medium eye gage mark in the drawing 4 flow chart.

[Drawing 12] It is the same explanatory view showing generation of the medium eye gage mark in the drawing 4 flow chart.

[Drawing 13] It is the explanatory view showing the path set up by generation of the medium eye gage mark in the drawing 4 flow chart.

[Drawing 14] It is the flow chart which shows the subroutine of the migration to the stairway downward glance gage mark in the drawing 4 flow chart.

[Drawing 15] It is the flow chart which shows the subroutine of preparation of selection processing among recognition of the current position in the drawing 14 flow chart.

[Drawing 16] It is the explanatory view showing actuation of the drawing 15 flow chart.

[Drawing 17] It is the flow chart which shows the subroutine of narrowing down of the shape facility point in the drawing 14 flow chart.

[Drawing 18] It is the explanatory view showing actuation of the drawing 17 flow chart.

[Drawing 19] It is the flow chart which shows the subroutine of selection of the optimal shape facility point in the drawing 14 flow chart.

[Drawing 20] It is the explanatory view showing actuation of the drawing 19 flow

chart.

[Drawing 21] It is the explanatory view showing assignment of a moving target, and the expansion to a basic walk function.

[Drawing 22] It is the flow chart which shows the subroutine of the walk planned processing in the drawing 14 flow chart.

[Drawing 23] It is the flow chart which shows the subroutine of the sequential execution in the basic walk mode by the walk plan in the drawing 14 flow chart.

[Drawing 24] It is the explanatory view showing an error with the recognition result of the current position and a robot's current position presumed from the migration command.

[Drawing 25] It is the explanatory view showing recognition of the shape facility point by the image processing.

[Drawing 26] It is the explanatory view showing other variations of the expansion to the same basic walk function as drawing 21 .

[Description of Notations]

1 Leg Formula Mobile Robot (2-Pair-of-Shoes Bipedal Robot)

24 Base

26 Control Unit

32 Visual Sensor

34 Image-Processing Unit

58 Keyboard, Mouse

60 User Interface

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3176701号
(P3176701)

(45) 発行日 平成13年6月18日 (2001. 6. 18)

(24) 登録日 平成13年4月6日 (2001. 4. 6)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

B 2 5 J 5/00

B 2 5 J 5/00

F

E

19/04

19/04

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

H

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平4-121431

(22) 出願日 平成4年4月15日 (1992. 4. 15)

(65) 公開番号 特開平5-297940

(43) 公開日 平成5年11月12日 (1993. 11. 12)

審査請求日 平成10年10月27日 (1998. 10. 27)

(73) 特許権者 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 配川 有二

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式

会社本田技術研究所内

(74) 代理人 100081972

弁理士 吉田 豊 (外1名)

審査官 佐々木 正章

(56) 参考文献 特開 昭63-44103 (J P, A)

特開 平1-311207 (J P, A)

特開 昭60-217413 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動体の現在位置認識処理装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 視覚センサを備え、少なくとも前記視覚センサを通じて得た画像情報に基づいて自己の現在位置を認識して移動する移動体の現在位置認識処理装置において、前記現在位置認識処理装置が、

a. 移動空間に存在する物体の形状ないしは位置について複数個の特徴点を予め記憶する記憶手段、及び

b. 前記複数個の特徴点の中から予め用意された、距離についての関数及び角度についての関数の少なくともいずれかを含む評価関数に従って所定の特徴点を選択し、前記選択された特徴点についての画像情報に基づいて自己の現在位置を認識する認識手段、からなることを特徴とする移動体の現在位置認識処理装置。

2

【請求項2】 複数本の脚部リンクを備えてなる脚式移動ロボットの歩行制御装置において、

a. 前記ロボットの歩行動作を所定の複数個の歩行機能の中から選択して決定する歩行動作決定手段、

及び

b. 前記決定された歩行動作を実現するように前記脚部リンクを駆動する駆動手段、を備えることを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。

10 【請求項3】 前記歩行機能が、停止→直進→停止、停止→登り→停止、停止→降り→停止、停止→方向転換→停止、停止→歩幅合わせ→停止を少なくとも含むことを特徴とする請求項2項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は移動体の現在位置認識処理装置などに関し、より具体的には移動環境内の視覚認識アルゴリズムに適した特徴的な形状を認識して、その認識された位置から自己の現在位置を認識する移動ロボットにおいて、視覚認識処理の高速化と高精度化を実現したものなどに関する。

【0002】

【従来の技術】移動体としては有人、無人を含めてさまざまなものが存在するが、そのうち無人の移動体として代表的なものに移動ロボットを挙げることができる。そして、移動型のロボットとしては今までに、特開昭62-97005号公報に記載の脚式のもの、特開昭62-285112号公報に記載のクローラ式のもの、ないしは車輪式のものなど種々のものが提案されている。その様な移動ロボットが例えば屋内を移動するとき、天井やドアの様に見えやすく、かつ形状も簡単なものを視覚認識処理して自己の現在位置を求めて移動することが予想される。尚、視覚認識処理技術自体は、例えば「機械の研究」第43巻、第1号（1991年）、ないしは「人工知能学会誌」Vol. 5, No. 6（1990年11月）などに詳しい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、現実にはロボットが移動する際には、複雑な環境の中を精度良く現在位置を認識して移動することが要求されるため、前記の天井の様に、遠方において正確な位置の測定が困難な対象によって現在位置を知ろうとする手法では、十分な移動精度を実現することができない。

【0004】このため、ロボットの近傍にある対象物の形状の中から、認識しやすいものを選択して高精度に現在位置を認識しようとするのが容易に考えられるが、この様な一般的な対象物の中に存在する視覚認識に適した形状は、物体の角部や色彩の異なったラベルなどであって、それらは現実には多数存在しており、それらの中から、どの特徴形状を使用するか予め設定しておくことは、移動経路が特定されていない限り、困難である。

【0005】従って、この発明の目的は上記した不都合を解消することであり、移動環境内を移動する移動体において視覚認識処理を通じて現在位置を高速かつ高精度に認識できるようにした移動体の現在位置認識処理装置を提供することにある。更に、移動体である脚式移動ロボットが現実には歩行するときは、障害物が多数存在する環境内を障害物を回避しつつ移動するように歩行制御しなければならず、そのような歩行制御を実現することが望まれていた。従って、この発明の第2の目的は、障害物が多数存在するような環境においても安定して歩行制御することができるようにした脚式移動ロボットの歩行制御装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は下記の如く構成した。後述する実施例の表現を付記して説明すると、請求項1項にあっては、視覚センサ32を備え、少なくとも前記視覚センサを通じて得た画像情報に基づいて自己の現在位置を認識して移動する移動体の現在位置認識処理装置において、前記現在位置認識処理装置が、移動空間に存在する物体の形状ないしは位置について複数の特徴点を予め記憶する記憶手段（制御ユニット26、S10から12）、及び前記複数の特徴点の中から予め用意された、距離についての関数及び角度についての関数の少なくともいずれかを含む評価関数に従って所定の特徴点を選択し、前記選択された特徴点についての画像情報に基づいて自己の現在位置を認識する認識手段（制御ユニット26、S14から20、S100）とからなる如く構成した。請求項2項にあっては、複数の脚部リンク2を備えてなる脚式移動ロボット1の歩行制御装置において、前記ロボットの歩行動作を所定の複数の歩行機能の中から選択して決定する歩行動作決定手段（制御ユニット26、S10からS18）、及び前記決定された歩行動作を実現するように前記脚部リンクを駆動する駆動手段（制御ユニット26、S20からS28）を備える如く構成した。請求項3項にあっては、前記歩行機能が、停止→直進→停止、停止→登り→停止、停止→降り→停止、停止→方向転換→停止、停止→歩幅合わせ→停止を少なくとも含む如く構成した。

【0007】

【作用】移動空間に存在する物体の形状ないしは位置について複数の特徴点を予め記憶しておき、その中から予め用意された、距離についての関数および角度についての関数の少なくともいずれかを含む評価関数に基づいて自己の現在位置を認識するようにしたことから、評価関数を適宜設定しておくことにより、高速かつ高精度に現在位置を認識することができる。さらに、ロボットの歩行動作を所定の複数の歩行機能の中から選択して決定し、決定された歩行動作を実現するように前記脚部リンクを駆動するように構成したので、複雑な環境を移動するときも、目標とする経路の記述が明確となって制御が容易となり、安定した歩行制御を実現することができる。

【0008】

【実施例】以下、移動体として2足歩行の脚式移動ロボットを例にとってこの発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節（軸）を備える（理解の便宜のために各関節（軸）をそれを駆動する電動モータで例示する）。該6個の関節（軸）は上から順に、腰の脚部回旋用の関節（軸）10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のピッチ方向（y軸まわり）の関節（軸）12R、12L、同口

ール方向（x軸まわり）の関節（軸）14R、14L、膝部のピッチ方向の関節（軸）16R、16L、足首部のピッチ方向の関節（軸）18R、18L、同ロール方向の関節（軸）20R、20Lとなっており、その下部には足平（足部）22R、22Lが取着されると共に、最上位には基体（胴体部24）が設けられ、その内部には後で述べる様にマイクロ・コンピュータを備えた制御ユニット26が格納される。上記において腰関節は関節（軸）10R（L）、12R（L）、14R（L）から構成され、また足関節は、関節（軸）18R（L）、20R（L）から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク28R、28Lで、膝関節と足関節との間は下腿リンク30R、30Lで連結される。

【0009】脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、更にはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1-324218号、特開平3-184782号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0010】ここで、図1に示すロボット1の基体24には、公知のCCD（固体映像素子）カメラからなる視覚センサ32が1個（単眼）配置され、その出力はマイクロ・コンピュータからなる画像処理ユニット34に送られる。また、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達されるx、y、z方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z とその方向まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また、基体24の上部には一対の傾斜センサ40、42が設置され、x-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度および角加速度と、同様にy-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度および角加速度とを検出する。また、各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる（図1において足関節の電動モータ用のもののみを示す）。これらの出力は前記した制御ユニット26に送られる。

【0011】図2は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40、42などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力は可逆カウンタ56を介してRAM54内に入力される。またユーザが目標位置などを入力するためにキーボードとマウス58が設けられ（図1で図示省略）、その出力はマイクロ

・コンピュータからなるユーザインタフェース60を通じてマイクロ・コンピュータ内に送出される。更に、前記した画像処理ユニット34の出力も通信インタフェース62を通じて同様にマイクロ・コンピュータ内に取り込まれる。制御ユニット内には演算装置64が設けられており、ROM66に格納されている環境地図に基づいて後で詳細に述べる様に現在位置の認識処理を行って歩行制御値を決定し、可逆カウンタ56から送出される実測値との偏差から電動モータの速度指令値を算出し、D/A変換器68を介してサーボアンプに送出する。

【0012】続いて、この制御ユニットの動作を説明する。

【0013】図3はその動作を環境認識処理に焦点を置いて示す機能ブロック図である。図示の如く、前記したROM66に格納した環境地図に基づいて視覚センサ32を通じて得た画像情報から現在位置を認識しつつ移動制御を行うものである。

【0014】以下、図4のフロー・チャート（PAD図（構造化フロー・チャート））を参照してその詳細を説明する。

【0015】先ず、S10において移動環境における初期現在位置の概略値、即ち、最初にロボット1が立っている位置と方向とを入力し、次いでS12において移動目標、即ち、目標点の位置とロボットの方向とを入力する。この入力図2に示したキーボード、マウス58とユーザインタフェース60とを通じて行う。

【0016】ここで、この実施例においては、移動環境として図5に示すような室内環境を想定する。即ち、ロボットは与えられた命令に従って階段を昇降し、2本の柱の間を通過して目標点に辿りつくための経路を選んで、その経路を参考にして移動動作を実行する。環境地図は図6に良く示す如く、最上位レベルから第2レベルを経て第3レベルに至るように階層的に記述する。最上位レベルは建物内の結合関係を示すものでエリアの結合として記述される。エリアはルームとリンクで構成される。ここでルームとは部屋や廊下のように領域的に一固まりに考えられる空間を、リンクとはルームの間を移動するために通過しなければいけない階段、ドアなどの場所を意味する。最上位レベルの下には、物体配置情報が第2レベルとして記述され、更にその下に、各物体について後で述べる接近禁止領域の情報、形状特徴の情報などが記述される。図7と図8にその詳細を示す。このような情報が環境地図としてROM66内に格納される。尚、以下では図5に示した部屋内の移動に限って説明する。

【0017】図4フロー・チャートにおいては次いでS14に進んで経路計画処理を行う。脚式移動ロボット、特に2足歩行のものにおいては、指定された距離を進んだり、指定された経路上を移動するなど、進行方向を自由に制御することは簡単ではない。しかしながら、移動

の視線が環境情報に記載されている形状特徴点の高さを横切る点までの距離により、ロボットから形状特徴点までの距離を求める。

【0023】この手法では形状特徴点までの距離しか測定できないので、ロボットの現在位置を求めるためには、少なくとも2点以上の形状特徴点までの距離を求める必要がある。この実施例ではその必要最小限の2点の距離から位置を決定している。他方、この手法では2点が決まる角度が小さいと、方向の測定誤差が大きくなる。そのため、図14フロー・チャートにおいて次のS106の最適形状特徴点の選択処理において、測定誤差が大きくならないようにした。

【0024】即ち、図19サブルーチン・フロー・チャートに示す最適形状特徴点の選択処理では、形状特徴点候補の上位2点の挟む角度が、誤差の許容量から決められる角度（許容角度）よりも大きかったら、そのまま2点を最適形状特徴点として決定し、その2点からロボットの現在位置を計算する（S1060～S1062）。また、許容角度より小さければ、視野の中にある他の形状特徴点候補を含めた2点によって挟む角度を大きくできるか否か判断する（S1063）。このとき、全ての組み合わせを調べるようにすると、候補の数が多くなった場合に処理時間が急速に長くなるので、この実施例では上位2点のうち、1点を交換することとして、その組み合わせの中で挟み角が最大となる2点の組を最適形状特徴点と決定している。例えば、図20に示す如く、候補1、2による挟み角 α が許容角度より小さいときは、候補1、2の一方、この場合は1を4に代え、新たな挟み角 β を求めて許容角度と比較する様にした。

【0025】尚、評価関数としては更に、近くに誤認識しやすい形状がある場合に、その様な形状の特徴点の使用を避ける様に、視覚認識のアルゴリズムの認識確率に関する関数を使用しても良い。また、複雑な環境の中を移動する場合には、複数の視覚認識やソナーなどの他の環境認識手段を併用して現在位置を認識することが考えられるが、その場合には、それらの処理の容易さや、認識精度なども考慮した評価関数を設定して形状特徴点を決定しても良い。

【0026】図14フロー・チャートに戻ると、S107において選択した特徴点の位置測定を通じて現在位置を認識した後、続いてS108に進んで歩行計画処理を行う。これは図21に示す様に指定された移動目標となる様に基本歩行機能へ展開する作業を意味する。具体的にはそのサブルーチンを示す図22フロー・チャートに従って説明すると、S1080において転換角度などを決定し、S1081において歩数と余りを決定する。より具体的には図22の下部に注記した様に、最初に α 度転換し（モードP1とする）、 n 歩前進し（モードP2）、余り $1'm$ を歩幅合わせて前進し（モードP3）、最後に B 度転換する（モードP4）歩行を計画す

【0022】具体的には図17フロー・チャートのS1040からS1048に示す如く、環境情報に記述されている対象物体のノードデータ(図8に示す)から形状特徴点を選び出し、その形状特徴点がそのときのカメラの視野の中に入っているかを調べる。次にロボットから形状特徴点までの距離を計算する。単眼による視覚処理なので、図18に示す様に、カメラから形状特徴点まで

る（尚、各モードの後に付した（a）などは、図9に示す該当する基本歩行機能を示す）。

【0027】図14フロー・チャートにおいては続いて、S110に進んで歩行制御処理を行う。これはS112に示す様に歩行計画による基本歩行モードの順次実行を意味しており、具体的には図23のサブルーチン・フロー・チャートにおいてS1120～S1123に示す如く、モードP1からP4を順次実行すべく、制御値を決定することを意味する。但し、ここで留意すべきことは、この段階において制御は、該当する基本歩行機能を実現する様に、図1に示した12個の関節についての角度指令値で決定されることであり、より具体的には角度指令値とエンコーダを通して得た実際値との偏差を解消する様にサーボアンプを介して各モータを駆動する様に行われる。但し、その詳細はこの発明の目的とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0028】図14フロー・チャートにおいては、続いてS114において移動誤差の認識処理、即ち、移動目標（階段下）への指令値に基づく移動後の現在位置の推定値に対してS100と同様の現在位置の認識を行って指令値との移動誤差を認識する処理を行い、S116～S120で誤差が所定値を超えると判断されるときは、誤差がその所定値以下になるまで修正移動を反復する。図24に移動指令から推定した現在位置と視覚センサを通じて求めた現在位置とから、移動誤差を求める状態を示す。尚、図25は画像処理による形状特徴点の確認作業の説明図である。

【0029】図4フロー・チャートに戻ると、続いてS22～S28に進んで階段登り動作などが行われるが、これはS20の階段下目標点への移動で述べたと同様に、現在位置を認識して歩行（移動）制御を行い、移動誤差を認識して修正移動を行うことであるので、その詳細は省略する。

【0030】この実施例は、予定する移動空間に存在する物体の形状特徴点を全て環境地図に記述しておき、その中から予め用意された評価関数に従い、所定の離間距離内にあるものを先ず選別し、その近傍の入力画像データのみを用いて挟み角が許容角度より大きいものを選択して現在位置を認識する様にした。また挟み角が許容角度以下のときは候補点の一方を代えて測定し直し、許容角度を超えるものの中で最大となるものを選択して現在位置を認識する様にした。更に、絶対的な現在位置ではなく、相対的な現在位置、即ち、移動指令から推定した現在位置と視覚センサを通じて得た実際の現在位置との誤差を求め、誤差が許容範囲を超えるときは修正移動する様にした。よって、現在位置を認識するのに適した形状特徴点に対する環境認識処理を高速かつ高精度に行うことができる。また環境地図に特徴点を記述しておくことから、様々な移動地点における適切な特徴点の位置の認識ができることによって、簡単な構成で現在位置を認

識することができる。

【0031】尚、図21で述べた基本歩行機能への展開はさまざまなバリエーションが可能であり、例えば図26の場合などは、左右の歩幅合わせを行ってから直進しても良いし、或いは図21のときと同様に方向転換して直進して再度方向転換しても良い。

【0032】尚、上記した実施例において単眼の視覚センサを用いたが、複眼のものを用いても良い。

【0033】更には、この発明を2足歩行の脚式移動ロボットについて説明したが、それに限られるものではなく、1足ないしは3足以上の脚式移動ロボットにも、更にはクローラ型、車輪型など他の形態の移動ロボットにも妥当するものである。

【0034】

【発明の効果】請求項1項にあっては、視覚センサを備え、少なくとも前記視覚センサを通じて得た画像情報に基づいて自己の現在位置を認識して移動する移動体の現在位置認識処理装置において、前記現在位置認識処理装置が、移動空間に存在する物体の形状ないしは位置について複数個の特徴点を予め記憶する記憶手段、及び前記複数個の特徴点の中から予め用意された、距離についての関数及び角度についての関数の少なくともいずれかを含む評価関数に従って所定の特徴点を選択し、前記選択された特徴点についての画像情報に基づいて自己の現在位置を認識する認識手段とからなる如く構成したので、評価関数を適宜設定することにより、高速かつ高精度に現在位置を認識することができる。

【0035】請求項2項にあっては、複数本の脚部リンクを備えてなる脚式移動ロボットの歩行制御装置において、前記ロボットの歩行動作を所定の複数個の歩行機能の中から選択して決定する歩行動作決定手段、及び前記決定された歩行動作を実現するように前記脚部リンクを駆動する駆動手段を備える如く構成したので、複雑な環境を移動するときも経路の記述が容易となり、障害物を確実に回避させることができ安定した歩行制御を実現することができる。

【0036】請求項3項にあっては、前記歩行機能が、停止→直進→停止、停止→登り→停止、停止→降り→停止、停止→方向転換→停止、停止→歩幅合わせ→停止を少なくとも含む如く構成したので、拘束条件式の算出が容易となると共に、複雑な環境を移動するときも経路の記述が容易となり、障害物を確実に回避させることができ一層安定した歩行制御を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る移動体の現在位置認識処理装置を2足歩行の脚式移動ロボットを例として全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図3】図2に示す制御ユニットの動作を示す機能プロ

ック図である。

【図4】図2に示す制御ユニットの動作を示すフロー・チャートである。

【図5】図4フロー・チャートで予定する移動環境の説明図である。

【図6】図5の環境地図の記述例を具体的に示す説明図である。

【図7】図6の記述例の第3レベルをより詳細に示す説明図である。

【図8】図6の記述例の第3レベルをより詳細に示す説明図で、特に特徴点の記述を詳細に示す説明図である。

【図9】図4フロー・チャートで予定する基本歩行機能を示す説明図である。

【図10】図4フロー・チャートの中の必須通過点の生成を示す説明図である。

【図11】図4フロー・チャートの中の中間目標点の生成を示す説明図である。

【図12】図4フロー・チャートの中の中間目標点の生成を示す同様の説明図である。

【図13】図4フロー・チャートの中の中間目標点の生成で設定された経路を示す説明図である。

【図14】図4フロー・チャートの中の階段下目標点への移動のサブルーチンを示すフロー・チャートである。

【図15】図14フロー・チャートの中の現在位置の認識のうち、選択処理の準備のサブルーチンを示すフロー・チャートである。

【図16】図15フロー・チャートの動作を示す説明図である。

【図17】図14フロー・チャートの中の形状特徴点の絞り込みのサブルーチンを示すフロー・チャートであ

*30

る。

【図18】図17フロー・チャートの動作を示す説明図である。

【図19】図14フロー・チャートの中の最適形状特徴点の選択のサブルーチンを示すフロー・チャートである。

【図20】図19フロー・チャートの動作を示す説明図である。

【図21】移動目標の指定と基本歩行機能への展開を示す説明図である。

【図22】図14フロー・チャートの中の歩行計画処理のサブルーチンを示すフロー・チャートである。

【図23】図14フロー・チャートの中の歩行計画による基本歩行モードの順次実行のサブルーチンを示すフロー・チャートである。

【図24】移動指令から推定した現在位置とロボットの現在位置の認識結果との誤差を示す説明図である。

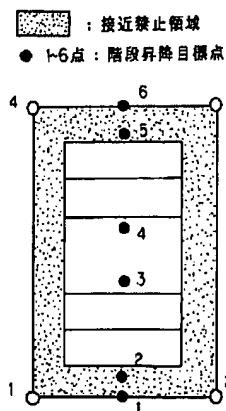
【図25】画像処理による形状特徴点の認識を示す説明図である。

【図26】図21と同様な基本歩行機能への展開の他のバリエーションを示す説明図である。

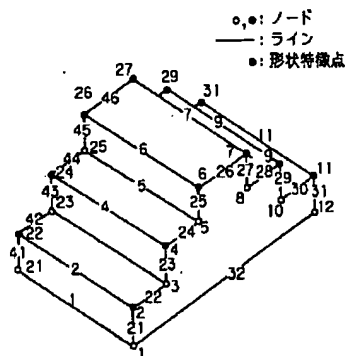
【符号の説明】

1	脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
24	基体
26	制御ユニット
32	視覚センサ
34	画像処理ユニット
58	キーボード、マウス
60	ユーザインタフェース

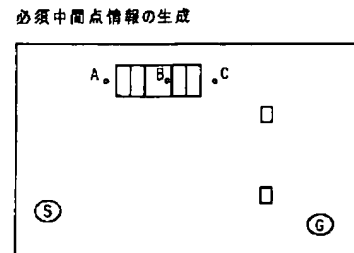
【図7】



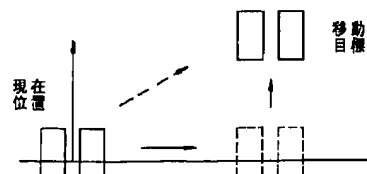
【図8】



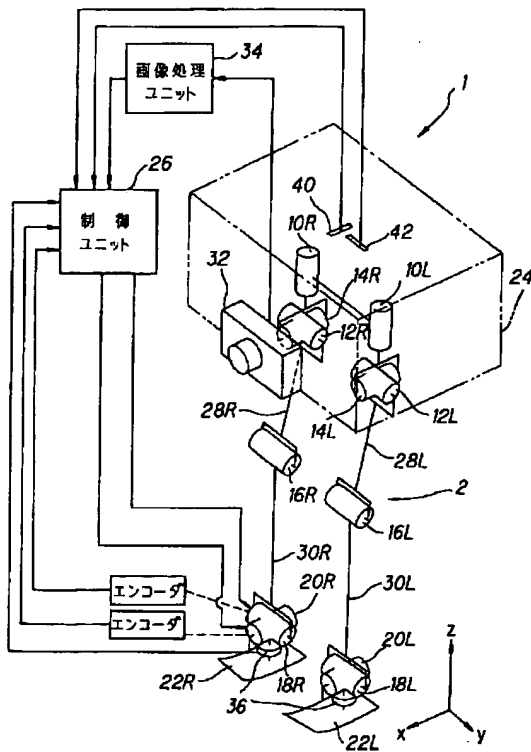
【図10】



【図26】

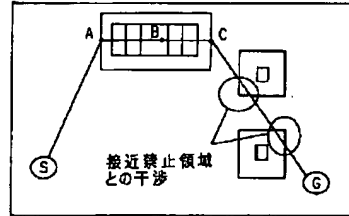


【図1】



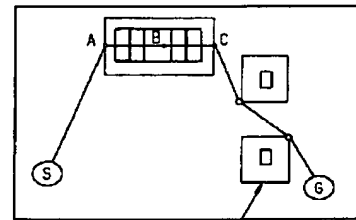
【図11】

障害物との干渉の検出



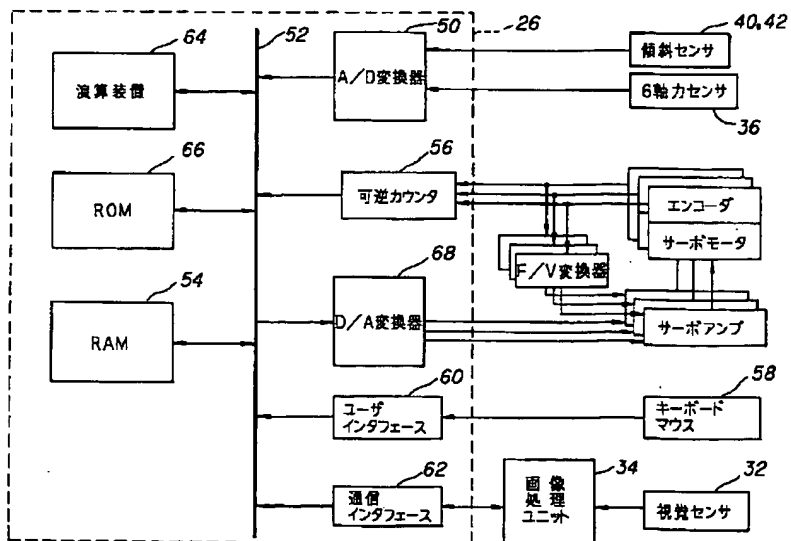
【図12】

中間目標点による障害物回避経路の生成

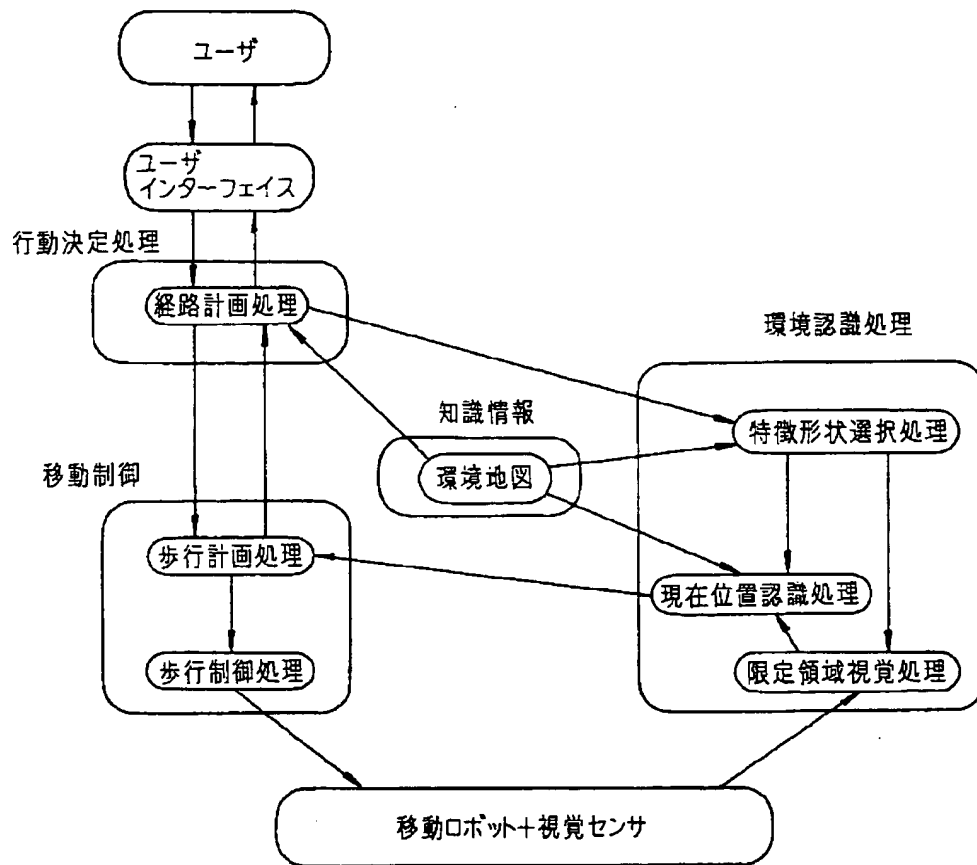


接近禁止領域

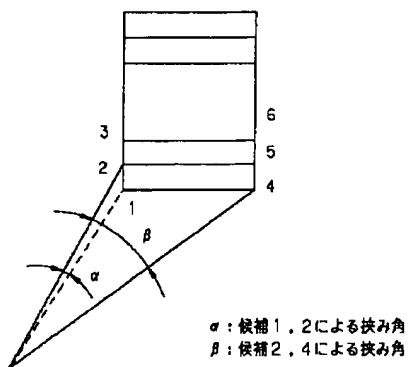
【図2】



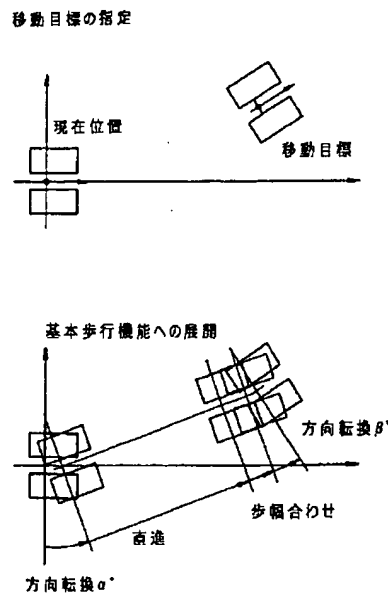
【図3】



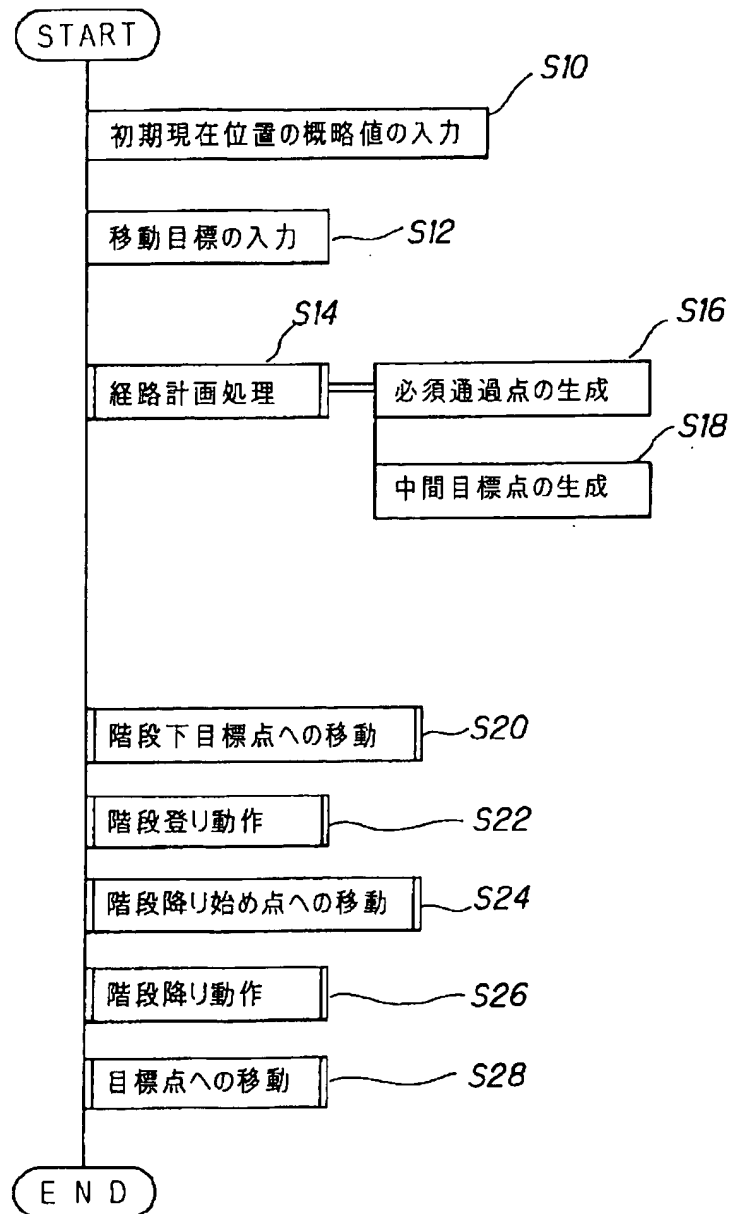
【図20】



【図21】

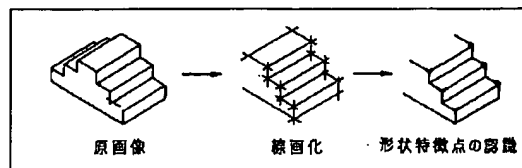


【図4】

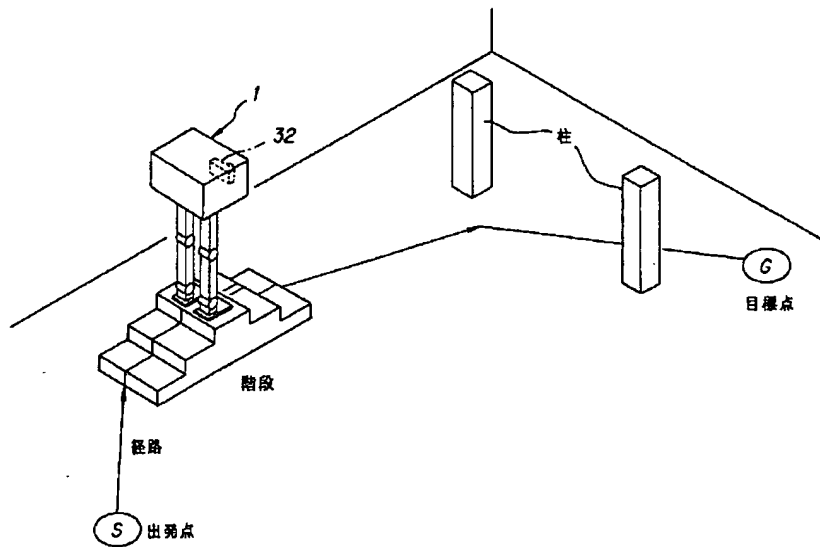


【図25】

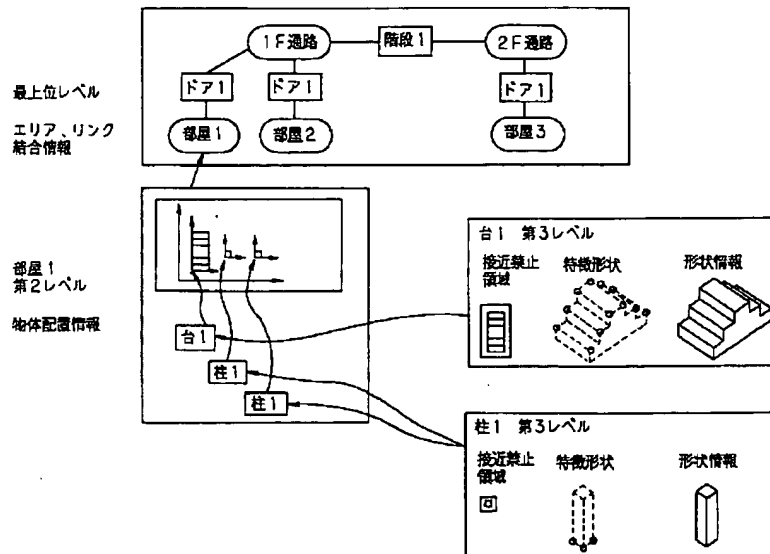
画像処理による形状特徴点認識



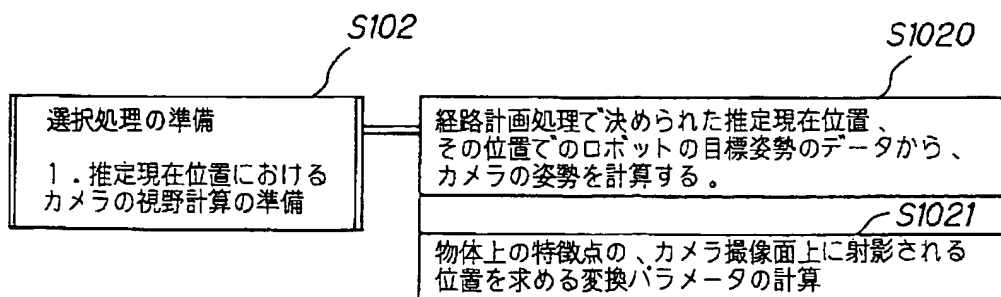
【図5】



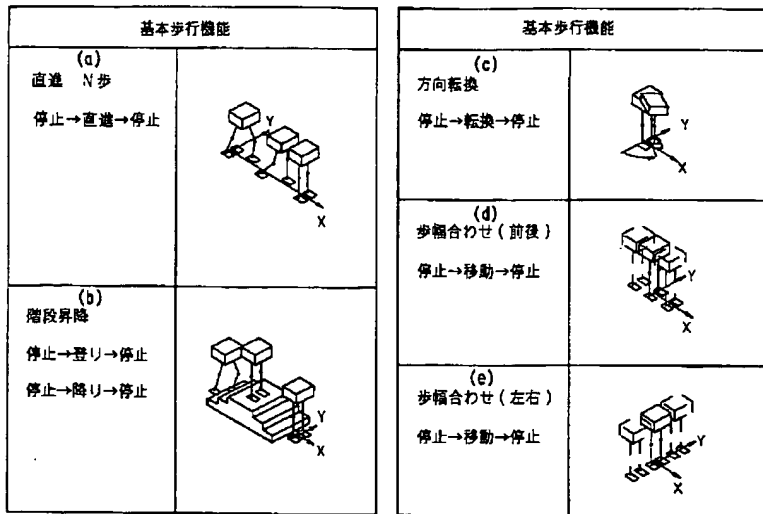
【図6】



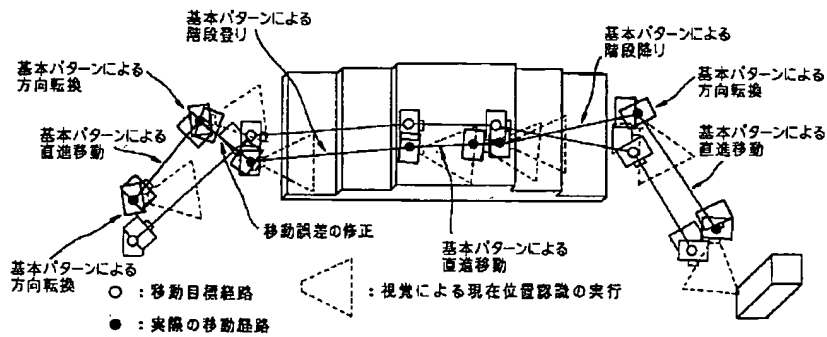
【図15】



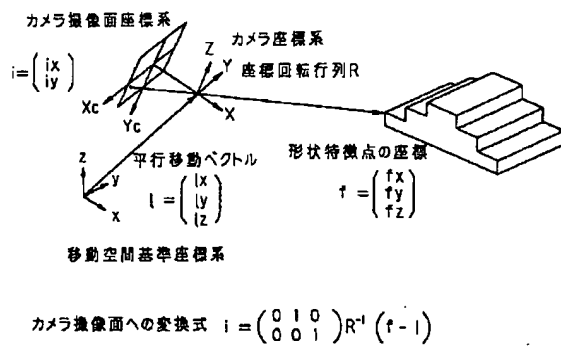
【図9】



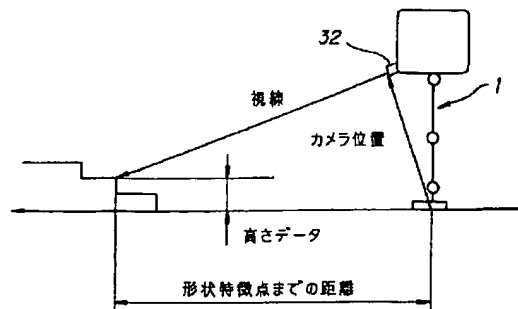
【図13】



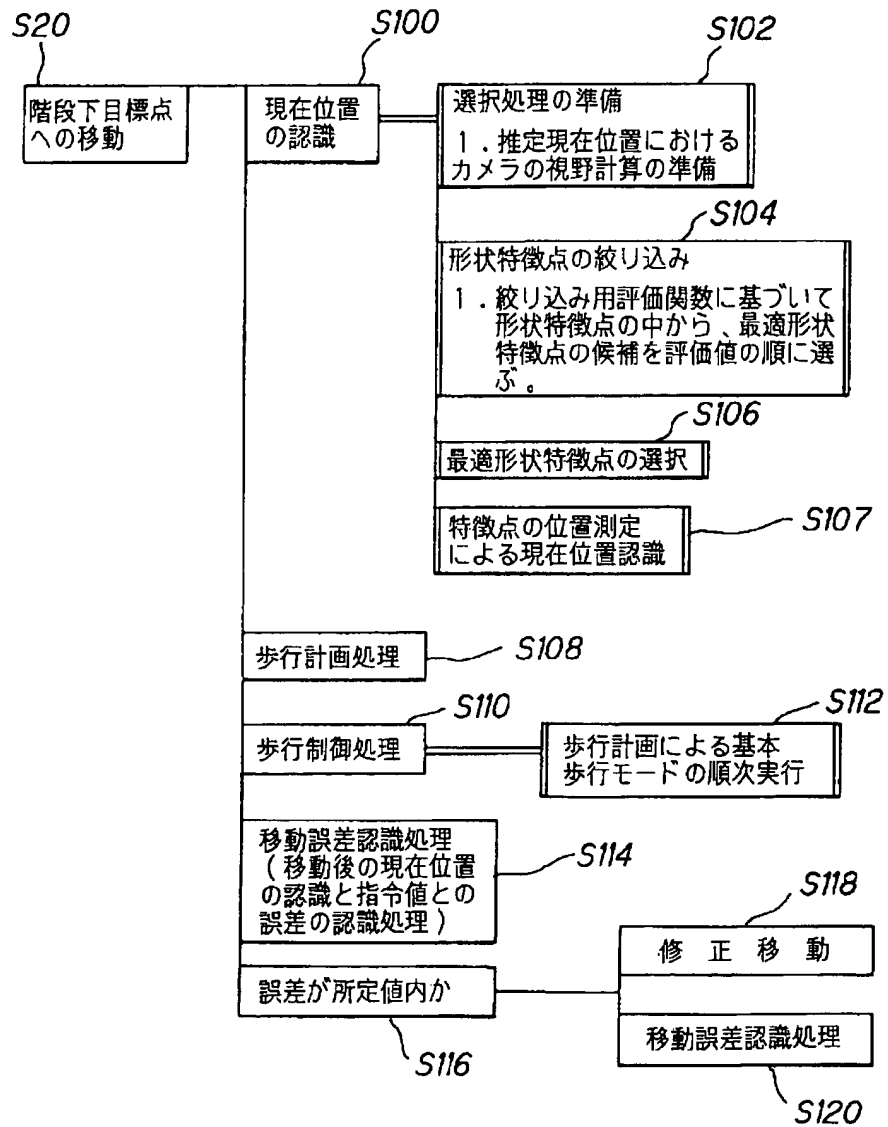
【図16】



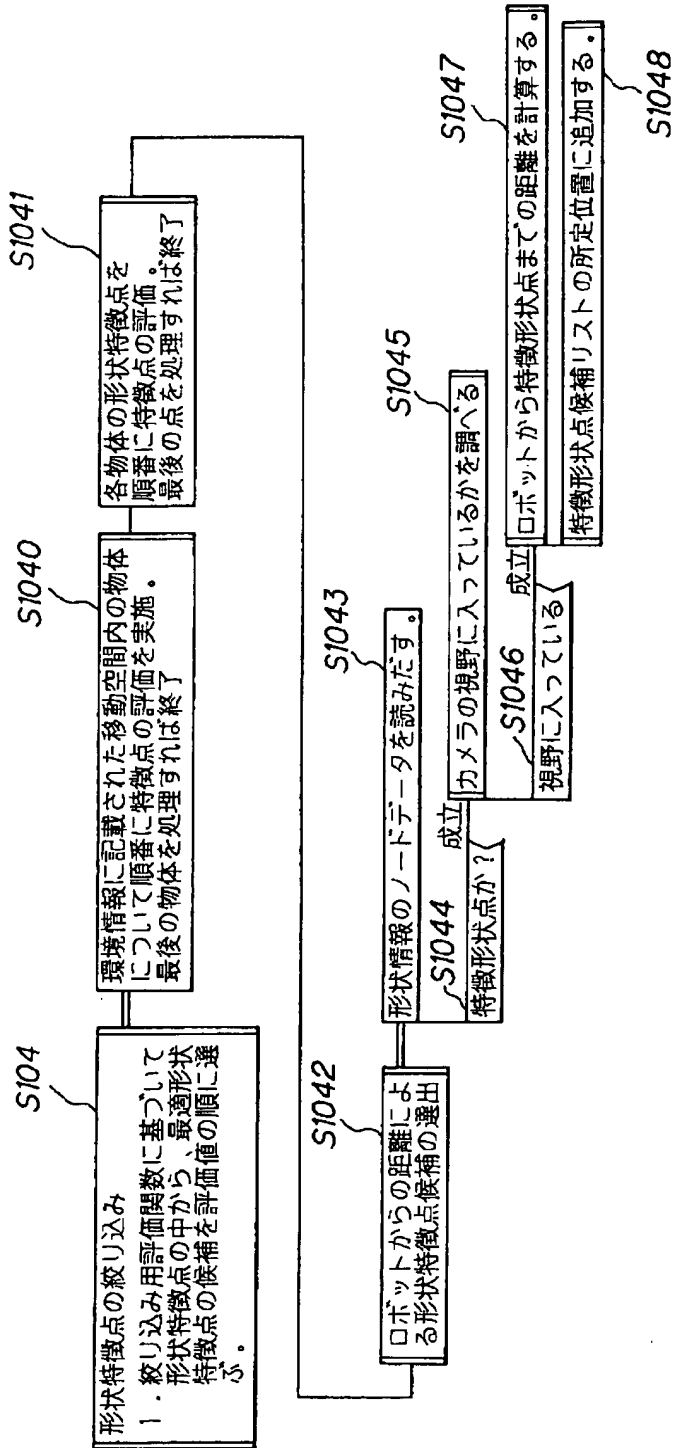
【図18】



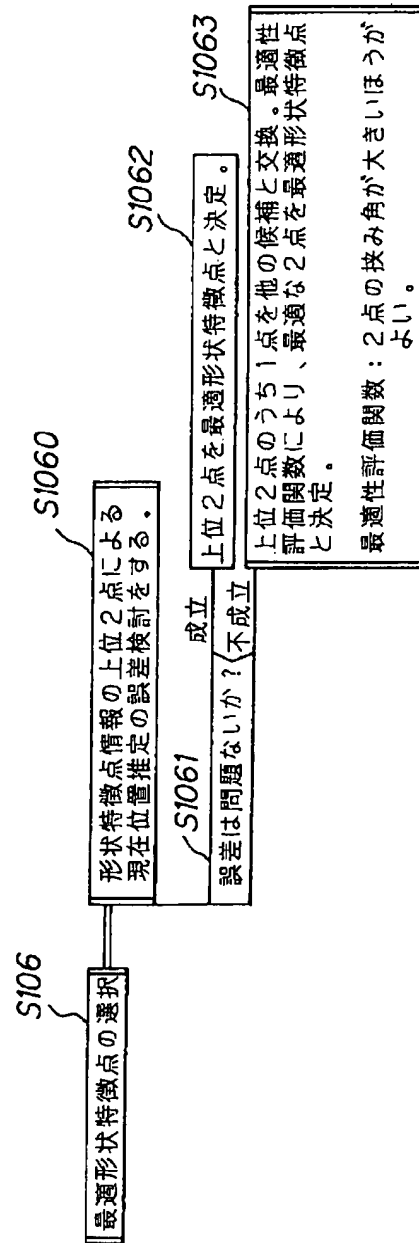
【図14】



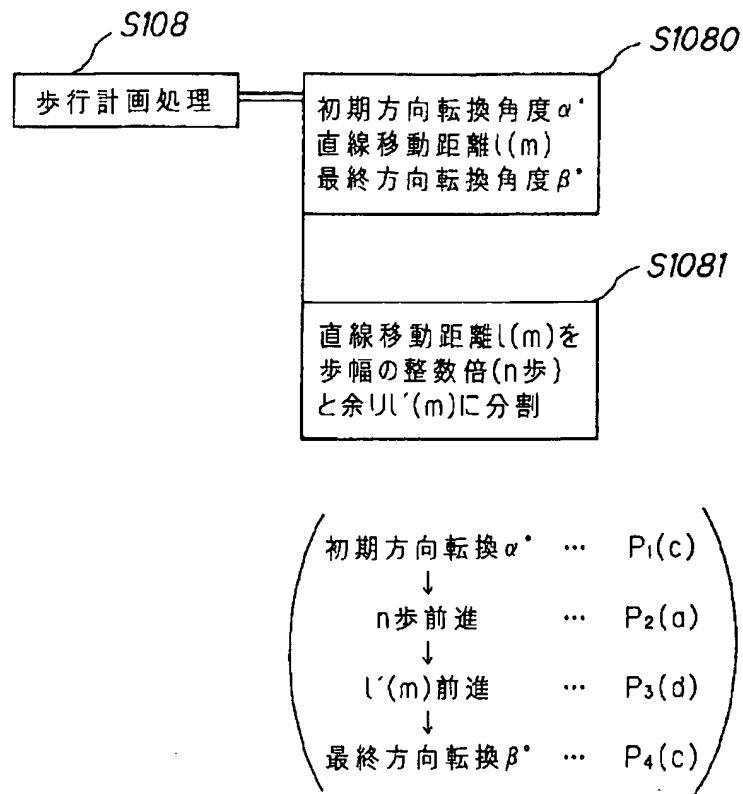
【図17】



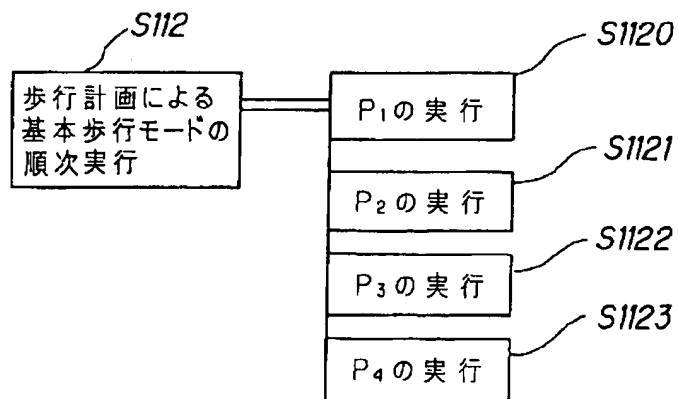
【図19】



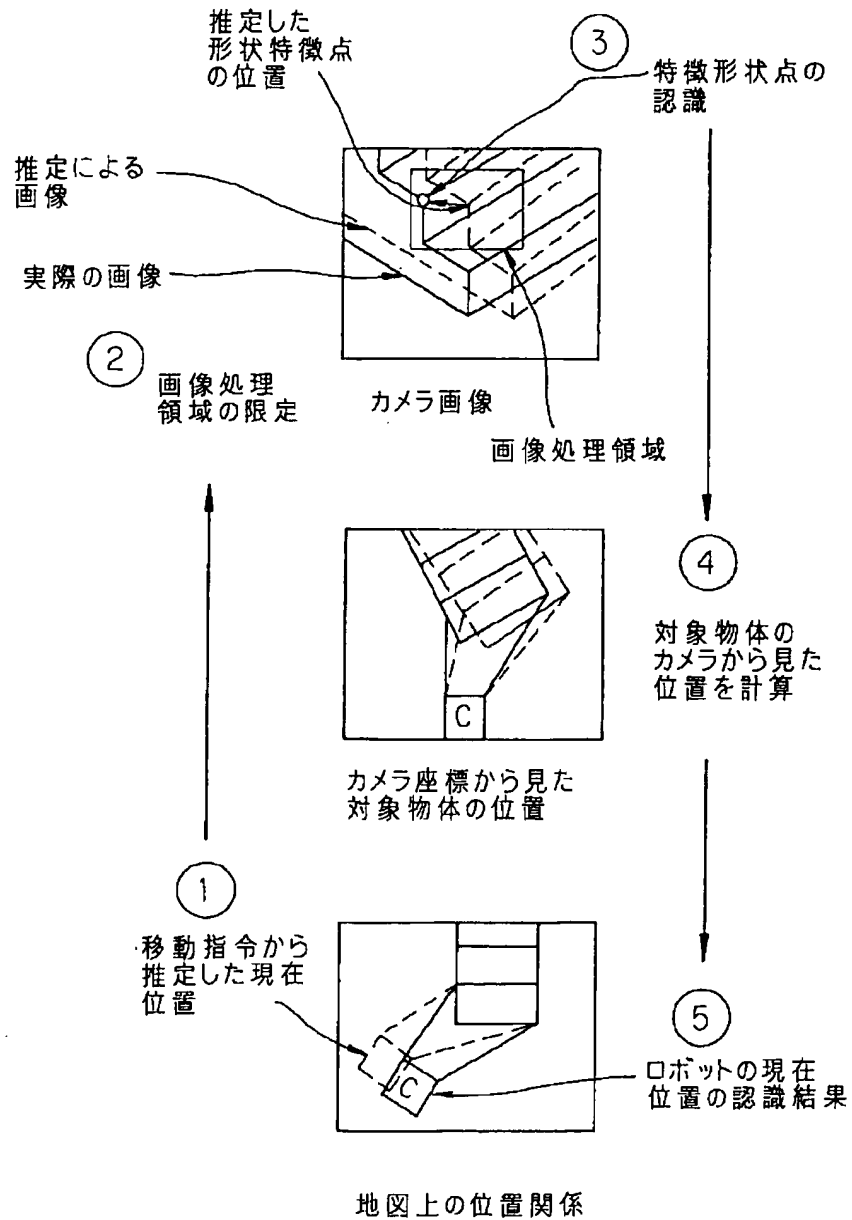
【図22】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

B25J 5/00

G01B 11/00

B25J 19/04